

В. Т. Купряшкин

*Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев*

### ЭНЕРГИИ И ИНТЕНСИВНОСТИ $\gamma$ -ПЕРЕХОДОВ В РАСПАДЕ $^{137}\text{Cs}$

С целью проверки данных распада  $^{137}\text{Cs}$  проведены измерения  $\gamma$ -спектра с использованием детектора высокого разрешения с подавлением комптоновского фона. Установлено, что переход  $\gamma_{279}$  кэВ, обнаруженный в ряде работ, не наблюдался и его следует считать ошибочным. Оценка интенсивности  $\gamma_{279}$  кэВ в нашей работе  $I_\gamma < 7 \cdot 10^{-7}$ . Энергия перехода  $\gamma_{283,4(1)}$  кэВ хорошо согласуется с данными предыдущих работ, а также с данными, приведенными в последней компиляции данных по  $^{137}\text{Cs}$ . Уточнена интенсивность перехода  $\gamma_{283,4}$  кэВ ( $I_\gamma = 67(20) \cdot 10^{-7}$ ), где данные разных работ отличались друг от друга. Оценка интенсивности перехода  $\gamma_{378}$  кэВ ( $I_\gamma < 6 \cdot 10^{-7}$ ), сделанная в работе, подтверждает малую интенсивность обнаруженного недавно очень слабого перехода  $\gamma_{377,9}$  кэВ, который идет с уровня 661,7 кэВ на уровень 283,5 кэВ.

*Ключевые слова:* распад  $^{137}\text{Cs}$ ,  $\gamma$ -спектры, энергии и интенсивности  $\gamma$ -лучей, HPGe-детектор.

#### Введение

$^{137}\text{Cs}$  принадлежит к категории хорошо известных радиоактивных источников. Возможность получать чистые по изотопному составу и высокоактивные по интенсивности источники  $^{137}\text{Cs}$ , а также большой период полураспада  $T_{1/2} = 30,17$  лет позволяет использовать их как в научных исследованиях, так и при проведении прикладных работ.  $^{137}\text{Cs}$  обычно входит в число основных стандартных радиоактивных источников (ОСГИ) и используется для определения энергии и интенсивности неизвестных  $\gamma$ -переходов при изучении структуры атомных ядер. Высокоактивные источники  $^{137}\text{Cs}$  используются в промышленных установках для различных целей: при определении дефектов в структуре различных материалов, для стерилизации медицинских инструментов, для увеличения сроков хранения пищевых продуктов.

$^{137}\text{Cs}$  образуется в основном при делении ядер и выделяется при переработке радиоактивных отходов реакторов. Схема распада  $^{137}\text{Cs}$  довольно проста. Считалось, что  $\beta$ -распад в основном (94,7%), идет на изомерный уровень 661,7 кэВ  $^{137}\text{Ba}$ ,  $11/2^-$  с временем жизни 2,6 мин, который далее разряжается  $\gamma$ -переходом М4 (или конверсионным электроном) на уровень  $3/2^-$  основного состояния  $^{137}\text{Ba}$ , а оставшаяся часть  $\beta$ -распада (5,3%) идет прямо на уровень основного состояния  $^{137}\text{Ba}$ . Однако проведенные исследования схемы уровней  $^{137}\text{Ba}$  в реакциях с различными заряженными частицами, с тепловыми и быстрыми нейтронами показали, что ниже уровня 661,7 кэВ  $^{137}\text{Ba}$  существует еще одно состояние и оно является первым возбужденным состоянием. Что касается энергии этого состояния, то в разных работах она отличалась существенно друг от

друга и это было трудно объяснить плохим разрешением используемых детекторов или ошибками в калибровке по энергии. Если рассматривать этот вопрос в хронологическом порядке, то в таблице изотопов издания 1968 г. [1] первому возбужденному уровню приписывалась энергия 281 кэВ, а в издании 1978 г. [2] – 279,2(3) кэВ. Такая же энергия приводилась в работе [3], авторы которой при изучении структуры уровней  $^{137}\text{Ba}$  в реакциях  $^{136}\text{Xe}(\alpha, 3n)$ ,  $^{136}\text{Xe}(\alpha, 2n)$  наблюдали в  $\gamma$ -спектре переход 279,2 (6) кэВ, на основании которого приписали уровню энергию 279,2 кэВ со спином и четностью  $1/2^+$  в согласии с данными других работ. В работе [4] спектр  $\gamma$ -лучей был измерен в реакции  $^{137}\text{Ba}(n, n'\gamma)$  на быстрых нейтронах реактора и приведено значение энергии  $\gamma$ -перехода 283,42(6) кэВ для перехода с первого возбужденного уровня в основное состояние, однако уже в более поздней работе [5] при изучении особенностей реакции  $^{136}\text{Ba}(n, 2\gamma)$  на тепловых нейтронах приводится значение энергии уровня 281 кэВ (погрешности не приводятся), а в работе [6] – 283,39(7) кэВ. Энергия первого возбужденного состояния  $^{137}\text{Ba}$  была определена также в работе [7] при изучении  $\gamma$ -спектров неупругого рассеяния нейтронов с разной энергией, вызванных протонами при бомбардировке на ускорителе газовой мишени трития в реакции  $^3\text{H}(p, n)^3\text{He}$ . В работе было отмечено также, что попытка обнаружить дублет линий в этой области энергий не привела к положительному результату.

Первый возбужденный уровень запитывается прямым  $\beta$ -переходом из основного состояния  $^{137}\text{Cs}$ , но может запитываться и  $\gamma$ -переходом мультипольности Е5 с уровня 661,7 кэВ  $^{137}\text{Ba}$  (возможны и оба варианта). В этом случае энергия такой  $\gamma$ -линии должна быть 378,2 кэВ. Были

© В. Т. Купряшкин, 2016

предприняты попытки установить энергию низлежащих состояний  $^{137}\text{Ba}$  и связывающих их переходов не только в реакциях с заряженными и незаряженными частицами, но и при распаде  $^{137}\text{Cs}$  [8, 9]. Сложность таких исследований состоит в обнаружении  $\gamma$ -линий очень малой интенсивности на уровне довольно высокого комптоновского фона от  $\gamma$ -линии 661,7 кэВ. В работе [8] для этих целей в измерениях использовался источник с активностью 7,2 мкКи и детектор с эффективностью 25 % при подавлении комптоновского фона. Время измерения составляло  $t = 1,152 \cdot 10^6$  с. Была обнаружена  $\gamma$ -линия с энергией 283,4 кэВ (погрешности не приводятся) и даны оценки интенсивности линий  $\gamma_{279,2}$  кэВ и  $\gamma_{378,2}$  кэВ, которые прямо в спектре не наблюдались. В работе [9] была предпринята попытка проверить эти результаты и попытаться найти либо улучшить оценки возможной интенсивности  $\gamma_{279,2}$  и  $\gamma_{378,2}$  кэВ. Авторы работы отметили, что заселенность уровня 283,5 кэВ может происходить не только прямым  $\beta$ -переходом в это состояние, но и каскадным  $\gamma$ -переходом 378,2 кэВ с уровня 661,7 кэВ. Учет его интенсивности влияет на точность определения  $\log ft$  для состояния 283,5 кэВ, что играет важную роль при определении типа запрещенных  $\beta$ -переходов. Время измерения в работе [9] было примерно в три раза больше, чем в работе [8], однако при проведении измерений они использовали Ge(Li)-детектор с разрешением 2,7 кэВ на  $\gamma$ -линии 661,7 кэВ  $^{137}\text{Cs}$ , что по современным представлениям не считается хорошим детектором по разрешающей способности, и, кроме того, измерения были проведены без подавления комптоновского фона.

Однако данных о схеме распада  $^{137}\text{Cs}$  все еще мало, энергии и интенсивности  $\gamma$ -линий в разных работах отличаются по величине и требуют подтверждения. Мы решили провести исследования  $\gamma$ -спектра из распада  $^{137}\text{Cs}$  с целью устранения этих противоречий. Наличие детектора с хорошим разрешением и эффективностью 40 %, а также возможность работать на установке с подавлением комптоновского фона позволяли нам надеяться выполнить эти измерения с лучшей точностью.

### Проведение эксперимента

Для проведения измерений использовалась установка, разработанная в отделе структуры ядра ИЯИ НАН Украины [10]. В работе использовался HPGe-детектор из сверхчистого германия с разрешением 1,8 кэВ на  $\gamma$ -линии 1332 кэВ  $^{60}\text{Co}$  (разрешение на  $\gamma$ -линии 661 кэВ составляло

1,6 кэВ, что значительно лучше, чем в работе [9]). HPGe-детектор был окружен пятью сцинтилляционными NaI(Tl)-детекторами, эффективность регистрации  $\gamma$ -квантов которых составляла более 90 %. Система обеспечена пассивной защитой, состоящей из нескольких слоев свинца, меди, кадмия, алюминия и плексигласа (перечисление снаружи внутрь). Толщина свинца 100 мм, меди 3 мм, кадмия 0.5 мм, алюминия 3 мм и плексигласа 4 мм. Когда  $\gamma$ -квант испытывает комптоновское рассеяние в германиевом детекторе и вылетает из него, то с вероятностью более 90 % он регистрируется окружающей активной защитой из сцинтилляционных детекторов, а комптоновский электрон регистрируется HPGe-детектором.

Спектрометр может работать в двух режимах: с подавлением комптоновского фона и в режиме  $\gamma\gamma$ -совпадений. Переключение режимов осуществляется установкой количества совпадающих сигналов на медленной схеме совпадений с установкой разрешающего времени 75 нс для быстрых совпадений и разрешающего времени 750 нс для режима регистрации антикомптоновского спектра. Энергетическая область в спектре сцинтилляционного детектора NaI(Tl) выделяется дискриминатором. Подаваемый на аналогоцифровой преобразователь управляющий сигнал передается в анализатор АИМ в качестве старшего бита кода номера канала, что позволяет разделить спектры совпадений и антисовпадений, которые записываются на диск персонального компьютера. При этом коэффициент подавления комптоновского фона в спектре антисовпадений составляет около 10, а интенсивность  $\gamma$ -линии не изменяется, если она не совпадает с другими  $\gamma$ -переходами. Подбиралась такая геометрия опыта, при которой обеспечивалась оптимальная скорость счета и в то же время уровень комптоновского фона от рассеянных  $\gamma$ -лучей был бы как можно меньше.

В нашем эксперименте использовался  $^{137}\text{Cs}$  из набора стандартных источников ОСГИ с активностью 67 кБк. Источник располагался на расстоянии 2,5 см от поверхности HPGe-детектора. Было проведено два измерения  $\gamma$ -спектра  $^{137}\text{Cs}$ , время измерений составляло  $t_1 = 3,108587 \cdot 10^6$  с  $\approx 36$  сут и  $t_2 = 2,500253 \cdot 10^6$  с  $\approx 28,9$  сут. Вывод информации на компьютер проводился каждый час. С целью проверки правильности работы установки эти часовые спектры анализировались отдельно, а затем суммировались. Сравнение данных по двум измерениям показало, что они хорошо согласуются между собой как по энергии наблюдаемых линий, так и по их интенсивности.

Калибровка  $\gamma$ -спектрометра по энергии проводилась по  $\gamma$ -линиям  $^{152}\text{Eu}$ , который входит в

число стандартных источников ОСГИ и его энергии известны с высокой точностью. Для определения зависимости эффективности регистрации детектора от энергии  $\gamma$ -квантов использовался тот же источник  $^{152}\text{Eu}$ . Измеренные точки соединялись плавной кривой, подгонка которой по точкам проводилась по методу наименьших квадратов. Значения эффективности детектора выводились на компьютер с интервалом в 1 кэВ, а затем определялось значение эффективности детектора для нужного значения энергии  $\gamma$ -линии. Проводился анализ  $\gamma$ -спектров на возможность присутствия в области интереса  $\gamma$ -линий от других радиоактивных изотопов как визуально, так и по атласам  $\gamma$ -лучей, но таких линий не было обнаружено.

### Результаты и обсуждение

Схема распада  $^{137}\text{Cs}$  по последней компиляции данных в Nuclear Data Sheets [11] представлена на рис. 1.

Измеренный участок  $\gamma$ -спектра  $^{137}\text{Cs}$  в диапазоне от 200 до 700 кэВ приведен на рис. 2, где стрелками указано место размещения в спектре  $\gamma$ -линий 283кэВ (283 кэВ,  $1/2^+ \rightarrow 0$  кэВ,  $3/2^+$ ) и  $\gamma$ 378 (661 кэВ,  $11/2^- \rightarrow 283$  кэВ,  $1/2^+$ ). Как видим из рисунка, линии  $\gamma$ 283 и 378 кэВ находятся на спадающем участке сильного комптоновского фона от  $\gamma$ 661,7 кэВ и на рисунке не видны из-за их малой интенсивности.

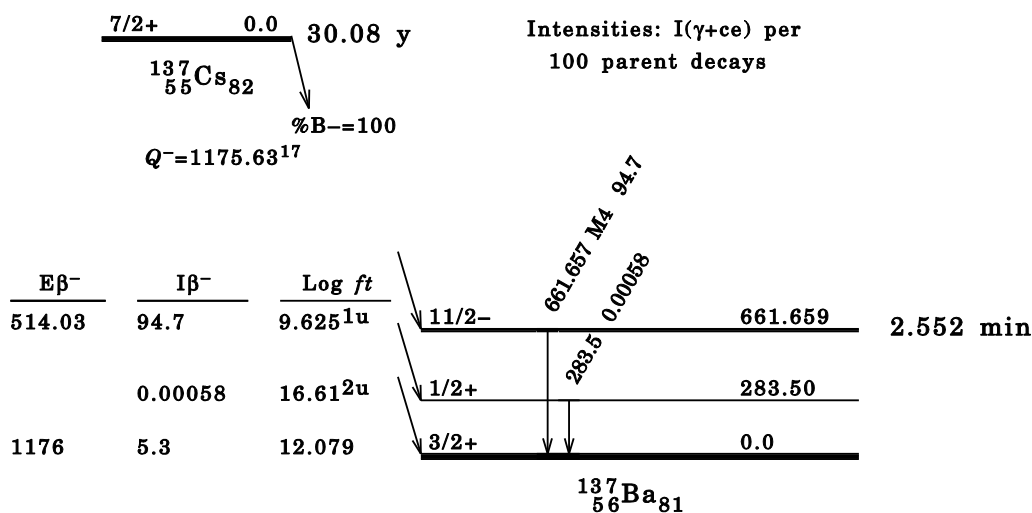


Рис. 1. Схема распада  $^{137}\text{Cs}$  [11].

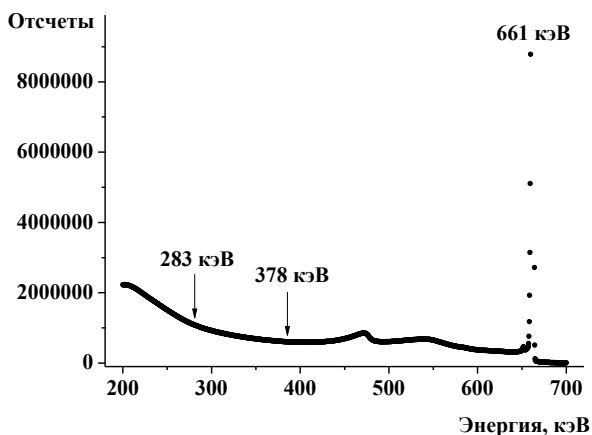


Рис. 2. Участок  $\gamma$ -спектра  $^{137}\text{Cs}$  в диапазоне от 200 до 700 кэВ.

Обнаружение слабого перехода в спектрах  $\gamma$ -лучей кажется простой задачей. Подбираем хороший детектор, регистрируем  $\gamma$ -лучи и продолжаем измерения до тех пор, пока искомый переход не проявляется с достаточной статистической точностью. Однако в нашем случае комптоновский фон от  $\gamma$ 661,7 кэВ также нарастает со временем и мешает это сделать. Поэтому подби-

раются такие соотношения между различными параметрами (время измерения, геометрия опыта, активность источника, активная и пассивная защита), которые позволяют создать наилучшие условия для набора полезной информации, что и было сделано в настоящей работе.

**Гамма-линия 279,2 кэВ.** Как упоминалось выше, переход был обнаружен в ряде работ в реакциях с заряженными и незаряженными частицами. Наблюдался он и в работе [3] при облучении  $\alpha$ -частицами обогащенной газовой мишени  $^{136}\text{Xe}$  в реакции  $^{136}\text{Xe}(\alpha, 3n)^{137}\text{Ba}$ . Предполагалось, что он связан с уровнем 279,2 кэВ со спином  $J^\pi = 1/2^+$ . Авторы работы установили такой порядок первых трех уровней  $^{137}\text{Ba}$ : основное состояние ( $3/2^+$ ), 279,2 ( $1/2^+$ ) и 661,6 ( $11/2^-$ ) кэВ. Однако в нашей работе, как и в ряде других работ [6 - 8],  $\gamma$ -переход с такой энергией не наблюдался ( $I_\gamma < 7 \times 10^{-7}$ ) и его следует считать ошибочным.

**Гамма-линия 283,5 кэВ.** По существующим представлениям [11] переход разряжает первый возбужденный уровень 283,5 кэВ  $J^\pi = 1/2^+$  в основное состояние  $3/2^+$   $^{137}\text{Ba}$ . Следует отметить,

что уникальный, второго порядка запрета  $\beta$ -переход, запитывающий этот уровень, является одним из наиболее слабых переходов такого типа. Было проведено два исследования уровней  $^{137}\text{Ba}$  из распада  $^{137}\text{Cs}$  [8, 9] и их данные об интенсивности  $\gamma_{283,5}$  кэВ отличаются примерно в полтора раза, что было одной из причин проведения наших исследований. Сложность определения интенсивности  $\gamma_{283,5}$  кэВ, как упоминалось выше, определяется ее малой интенсивностью и высоким комптоновским фоном. Нами проведено два измерения  $\gamma$ -спектра  $^{137}\text{Cs}$ , в которых энергия  $\gamma_{283,4(1)}$  кэВ и его интенсивность  $I_\gamma = 67(20) \cdot 10^{-7}$  хорошо согласуются между собой. В качестве подтверждения правильности значения энергии  $\gamma_{283,4}$  кэВ, которое приводится нами, служит тот факт, что расхождение в энергии для сильной  $\gamma$ -линии 661,7 кэВ в двух сериях составляет всего 40 эВ. Поскольку линия  $\gamma_{283,5}$  кэВ сравнительно слабая и находится на сильном комптоновском фоне, она приведена на рис. 3 за вычетом фона в одной из серий измерения. Как видим, на рисунке линия хорошо видна, хотя ее интенсивность мала (находится на уровне  $10^{-6}$  от общей интенсивности распада).

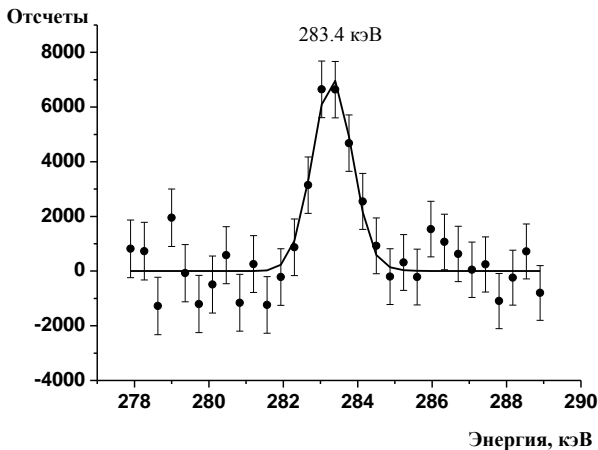


Рис. 3. Участок  $\gamma$ -спектра с  $\gamma_{283,4}$  кэВ  $^{137}\text{Cs}$  за вычетом фона.

**Гамма-линия 378 кэВ.** Переход с такой энергией может происходить между состояниями 661,7 кэВ,  $11/2^-$  и 283,5 кэВ,  $1/2^+$ . В работе [8] переход  $\gamma_{378}$  кэВ не наблюдался, но отмечалось, что интенсивность этого перехода может быть примерно такой же, как и  $\gamma_{283,5}$  кэВ, хотя проведенная ими же оценка интенсивности перехода показала, что она, по крайней мере, в полтора раза меньше. Переход не наблюдался и в работах [7, 9], хотя оценки его возможной интенсивности были сделаны. Оценка интенсивности перехода из обычного  $\gamma$ -спектра была сделана также в работе [9] и составляла  $I_\gamma < 9 \cdot 10^{-7}$ . Наша оценка интенсивности  $\gamma_{378}$  кэВ была сделана на основе анали-

за каждого из двух спектров измерений, а также из их суммарного спектра и составляет  $I_\gamma < 6 \cdot 10^{-7}$ , она в 1,5 раза лучше, но  $\gamma$ -линия 378 кэВ тем не менее в  $\gamma$ -спектре еще не была видна.

Однако недавно в Арагонской национальной лаборатории был проведен специальный эксперимент по поиску этого перехода на установке нового поколения “Gammasphere” в геометрии 4 $\pi$  с 93 германиевыми детекторами [12]. Такая установка предоставляет новые возможности для регистрации слабых  $\gamma$ -переходов и может быть использована также в других областях физического эксперимента. В результате проведенных исследований был обнаружен новый очень слабый  $\gamma$ -переход с энергией 377,9 (3) кэВ, для которого ранее делались только оценки возможной интенсивности. Переход идет с уровня 661,7 кэВ,  $J^\pi = 11/2^-$  на уровень 283,5 кэВ,  $J^\pi = 1/2^+$ . Они определили его как почти чистый E5-переход и приписали ему интенсивность  $I_\gamma = 1,12(9) \cdot 10^{-7}$ . Наши оценки интенсивности  $\gamma_{378,2}$  кэВ  $I_\gamma < 6 \cdot 10^{-7}$  не противостоят малой интенсивности перехода, хотя возможности нашей установки не позволили его наблюдать.

Результаты измерений приведены в таблице, где они сравниваются с результатами других работ. Как видим из таблицы, энергия  $\gamma$ -перехода 283,5 кэВ [11] по данным нашей работы 283,4(1) кэВ и других работ хорошо согласуются между собой. Интенсивность перехода в нашей работе лучше согласуется с работами [7, 8] и отличается от данных предыдущей работы по распаду  $^{137}\text{Cs}$  [9], где она завышена.

Следует отметить, однако, что приведенное в работе [12] значение энергии  $\gamma$ -перехода 377,9(3) кэВ кажется несколько ниже, если исходить из принятых значений энергии уровней и значений энергии  $\gamma$ -линий 661,66 и 283,54 кэВ по данным последней компиляции данных [11], а также данным нашей работы и других работ. Действительно, энергия уровня 661,659(3) кэВ основана на энергии перехода  $\gamma_{661,7}$  кэВ, который имеет большую интенсивность, измерен с высокой точностью и сомневаться в значении его энергии не приходится. Значение энергии уровня 283,5 кэВ основано на энергии перехода  $\gamma_{283,50(4)}$  кэВ, в распаде  $^{137}\text{Cs}$  он слабый, но в реакциях достаточно интенсивный, на основании которых и принято значение энергии этого уровня 283,50 кэВ. Если же исходить из принятых значений уровней (округляем до второго знака) 661,66 и 283,50(4) кэВ [11], то энергия этого перехода должна быть  $661,66 - 283,50 = 378,16$  кэВ, что на 260 эВ больше, чем приведенная в работе [12]. Хотя приведенные погрешности энергии перехода 377,9(3) кэВ лежат в рамках допустимых значений и согласуются с данными других

работ, а также с данными последней компиляции данных  $^{137}\text{Cs}$  [11], то не совсем понятно, почему авторы работ [12] выбрали и приводят в своей работе значение 377,9(3) кэВ. Наше значение

энергии перехода, по данным двух измерений, составляет 283,4(1) кэВ, что еще больше увеличивает разницу в приведенном значении энергии перехода 377,9 кэВ.

### Энергии $\gamma$ -переходов и их измеренные и оцененные интенсивности в распаде $^{137}\text{Cs}$ по данным нашей работы и работ [7 - 9, 12]

Авторы работ	$\gamma_{283}$		$\gamma_{378}$	
	$E_{\gamma}$ , кэВ	$I_{\gamma} \cdot 10^{-7}$	$E_{\gamma}$ , кэВ	$I_{\gamma} \cdot 10^{-7}$
Наша работа	283,4(1)	67(20)		< 6
Morgan K. et al. [12] *			377,9(3)	1,12(9)
Сергеев В. О. и др. [9]	283,4(2)	90(20)		< 9
Bikit I. et al. [8]	283,4	53(14)		< 34
Wagner E. [7]**	283,53(4)	68(10)		

\* Значения энергии и интенсивности для  $\gamma_{283,5}$  кэВ в работе не приводятся.

\*\* Значения энергии и интенсивности приведены по результатам, полученным из измерений спектра  $\gamma$ -лучей в  $^{137}\text{Ba}$  (n, n' $\gamma$ )-реакции. Значение интенсивности  $\gamma_{283,53}$  кэВ получено авторами также из распада  $^{137}\text{Cs}$   $I_{\gamma} = 61(10) \cdot 10^{-7}$ , но в статье они приводят значение интенсивности как в таблице. Для  $\gamma_{378}$  кэВ оценки интенсивности в работе не приводятся.

### Выводы

1. Переход  $\gamma_{279}$  кэВ, обнаруженный в ряде ранних работ и в работе [3], в нашей работе ( $I_{\gamma} < 7 \cdot 10^{-7}$ ), как и в работах [6 - 9], не наблюдался и его следует считать ошибочным.

2. Энергия перехода в нашей работе  $\gamma_{283,4(1)}$  кэВ хорошо согласуется с данными предыдущих работ и данными, приведенными в последней компиляции данных [11].

3. Интенсивность перехода  $\gamma_{283,4(1)}$  кэВ по нашим данным  $I_{\gamma} = 67(20) \cdot 10^{-7}$  несколько ниже, чем полученная в предыдущей работе [9] по распаду  $^{137}\text{Cs}$  и лучше согласуется с работами [7, 8].

4. Переход  $\gamma_{377,9}$  кэВ, обнаруженный в рабо-

те [12] на более совершенной установке нового поколения, в нашей работе, как и в других работах, ранее не наблюдался. Однако наши оценки его интенсивности лучше, чем в других ранее выполненных работах, и косвенно подтверждают его очень малую интенсивность  $I_{\gamma} = 1,12(9) \cdot 10^{-7}$  [12]. Однако энергия перехода, приведенная в [12], хотя и находится в рамках приведенных погрешностей, но отличается примерно на 260 эВ от данных нашей работы и других работ и требует проверки.

Автор выражает благодарность Н. В. Стрильчуку и П. Н. Трифонову за помощь в измерениях и обработке результатов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Lederer C.M., Hollander J.M., Perlman I. Table of Isotopes / 6-th ed. - New York: Wiley, 1968.
- Lederer C.M., Shirley V.S. Table of Isotopes / 7-th ed. - New York: Wiley, 1978. - P. 712.
- Kerek A., Kovnacki J. The level structure of the N = 81 and 82 nuclides  $^{137,138}\text{Ba}$  as investigated in  $^{136}\text{Xe}$  ( $\alpha$ , xn) reactions // Nucl. Phys. - 1973. - Vol. A206. - P. 245 - 272.
- Бондаренко В.А., Кувага И.Л. и др. // Тез. докл. 34 Совещ. по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Алма - Ата, 17 - 20 апреля 1984 г. - Л.: Наука, 1984. - С. 108.
- Бондаренко В.А., Кувага И.Л. и др. // Тез. докл. 41 Совещ. по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Минск, 16 - 19 апреля 1991 г. - Л.: Наука, 1991. - С. 77.
- Bondarenko, V.A., Kuvaga, I.L. et al. Levels of  $^{137}\text{Ba}$  studied with neutron-induced reactions // Nucl. Phys. A - 1995. - Vol. 582. - P. 1 - 22.
- Wagner B.K., Garret P.E. et al. On the first excited state of  $^{137}\text{Ba}$  // Journal of Radioanalytical and Nucl. Chemistry. - 1997. - Vol. 219. - P. 217 - 220.
- Bikit I., Anicin I. et al. Population of 283 keV level of  $^{137}\text{Ba}$  by  $\beta$ -decay of  $^{137}\text{Cs}$  // Phys. Rev. C. - 1996. - Vol. 54. - P. 3270 - 3272.
- Сергеев В.О., Валиев Ф.Ф. Уникальные дважды запрещенные бета-переходы. Распад  $^{137}\text{Cs}$  // Изв. РАН. - 2007. - Т. 71, № 6. - С. 854 - 858.
- Саврасов А.М. Збудження ізомерних станів ядер у реакціях з легкими частинками і гамма-квантами: дис. ... канд. фіз.-мат. наук. - К., 2011. - 110 с.
- Browne E., Tuli J.K. // Nucl. Data Sheets for A = 137. - 2007. - Vol. 108. - P. 2173 - 2318.
- Morgan K., McCutchan E.A., Lister C.J. et al. E5 decay from the  $J^{\pi} = 11/2$  isomer in  $^{137}\text{Ba}$  // Phys. Rev. C. - 2014. - Vol 90. - P. 041303(R).

В. Т. Купряшкін

*Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ***ЕНЕРГІЇ ТА ІНТЕНСИВНОСТІ  $\gamma$ -ПЕРЕХОДІВ У РОЗПАДІ  $^{137}\text{Cs}$** 

З метою перевірки даних розпаду  $^{137}\text{Cs}$  проведено вимірювання  $\gamma$ -спектра з використанням детектора високої роздільної здатності та придушенням комптонівського фону. Установлено, що перехід  $\gamma 279$  кеВ, виявлений у ряді робіт, не спостерігається і його слід вважати помилковим. Оцінка інтенсивності  $\gamma 279$  кеВ у нашій роботі  $I_\gamma < 7 \cdot 10^{-7}$ . Енергія переходу  $\gamma 283,4(1)$  кеВ добре узгоджується з даними попередніх робіт, а також із даними, наведеними в останній компіляції даних по  $^{137}\text{Cs}$ . Уточнено інтенсивність переходу  $\gamma 283,4$  кеВ ( $I_\gamma = 67(20) \times 10^{-7}$ ), де дані різних робіт відрізнялись між собою. Оцінка інтенсивності переходу  $\gamma 378$  кеВ ( $I_\gamma < 6 \cdot 10^{-7}$ ), зроблена в роботі, підтверджує малу інтенсивність виявленого недавно дуже слабкого переходу  $\gamma 377,9$  кеВ, що йде з рівня 661,7 кеВ на рівень 283,5 кеВ.

*Ключові слова:* розпад  $^{137}\text{Cs}$ ,  $\gamma$ -спектри, енергії та інтенсивності  $\gamma$ -променів, HPGe-детектор.

V. T. Kupryashkin

*Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv***ENERGY AND INTENSITY OF  $\gamma$ -TRANSITIONS IN THE DECAY OF  $^{137}\text{Cs}$** 

In order to verify the data from  $^{137}\text{Cs}$  decay  $\gamma$ -spectrum was measured using the high-resolution detector with Compton background suppression. It was found that the transition  $\gamma 279$  keV, detected in a number of works, has not been observed and should be regarded as wrong. Evaluation of the intensity of  $\gamma 279$  keV in our work is  $I_\gamma < 7 \cdot 10^{-7}$ . Energy of the transition  $\gamma 283.4(1)$  keV is in good agreement with previous works, as well as with data presented in the latest compilation of data on  $^{137}\text{Cs}$ . Refined intensity of transition  $\gamma 283.4(1)$  keV ( $I_\gamma = 67(20) \cdot 10^{-7}$ ), where data from different projects were significantly different from each other. Our evaluation of intensity of  $\gamma 378$  keV ( $I_\gamma < 6 \cdot 10^{-7}$ ) confirms low intensity recently discovered weak transition  $\gamma 377.9$  keV which comes from the 661.7 keV level to 283.5 keV level.

*Keywords:*  $^{137}\text{Cs}$  decay,  $\gamma$ -spectra,  $\gamma$ -rays intensity and energy, HPGe-detector.

## REFERENCES

1. Lederer C.M., Hollander J.M., Perlman I. Table of Isotopes / 6-th ed. - New York: Wiley, 1968.
2. Lederer C.M., Shirley V.S. Table of Isotopes / 7-th ed. - New York: Wiley, 1978. - P. 712.
3. Kerek A., Kovnacki J. The level structure of the N = 81 and 82 nuclides  $^{137,138}\text{Ba}$  as investigated in  $^{136}\text{Xe}(\alpha, xn)$  reactions // Nucl. Phys. - 1973. - Vol. A206. - P. 245 - 272.
4. Bondarenko V.A., Kuvaga I.L. et al. // 34-th Meeting. Nuclear Spectroscopy and Nuclear Structure, Alma - Ata, 17 - 20 April, 1984. - Leningrad: Nauka, 1984. - P. 108. (Rus)
5. Bondarenko V.A., Kuvaga I.L. et al. // 41-st Meeting. Nuclear Spectroscopy and Nuclear Structure, Alma - Ata, 16 - 19 April, 1991. - Leningrad: Nauka, 1991. - P. 77. (Rus)
6. Bondarenko, V.A., Kuvaga, I.L. et al. Levels of  $^{137}\text{Ba}$  studied with neutron-induced reactions // Nucl. Phys. A - 1995. - Vol. 582. - P. 1 - 22.
7. Wagner B.K., Garret P.E. et al. On the first excited state of  $^{137}\text{Ba}$  // Journal of Radioanalytical and Nucl. Chemistry. - 1997. - Vol. 219. - P. 217 - 220.
8. Bikit I., Anicin I. et al. Population of 283 keV level of  $^{137}\text{Ba}$  by  $\beta$ -decay of  $^{137}\text{Cs}$  // Phys. Rev. C. - 1996. - Vol. 54. - P. 3270 - 3272.
9. Sergeev V.O., Valiev F.F. // Izv. RAN. - 2007. - Vol. 71, No. 6. - P. 854 - 858. (Rus)
10. Savrasov A.M. Excitation of isomeric states of nuclei in reactions with light particles and gamma quanta: Ph. D. Thesis. - Kyiv, 2011. - 110 p. (Ukr)
11. Browne E., Tuli J.K. // Nucl. Data Sheets for A = 137. - 2007. - Vol. 108. - P. 2173 - 2318.
12. Morgan K., McCutchan E.A., Lister C.J. et al. E5 decay from the  $J^\pi = 11/2$  isomer in  $^{137}\text{Ba}$  // Phys. Rev. C. - 2014. - Vol 90. - P. 041303(R).

Надійшла 18.11.2015

Received 18.11.2015